



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**
DE 44 16 108 A 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 B 11/24
G 01 B 11/00

②1 Aktenzeichen: P 44 16 108.5
②2 Anmeldetag: 6. 5. 94
④3 Offenlegungstag: 9. 11. 95

DE 44 16 108 A 1

⑦1 Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:

Rackette, K., Dipl.-Phys. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 79098
Freiburg

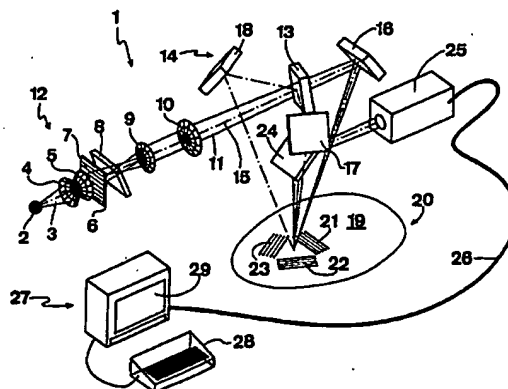
⑦2 Erfinder:

Schreiber, Wolfgang, Dr., 07747 Jena, DE; Gerber,
Jörg, Dr., 07745 Jena, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche

⑤7 Mit einer Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche (19) sind wenigstens drei Streifenmuster (21, 22, 23) auf die Objektoberfläche (19) projizierbar, wobei die Linien der Streifenmuster (21, 22, 23) zueinander winklig ausgerichtet sind und den Streifenmustern (21, 22, 23) zugeordnete Projektionsachsen räumlich gegeneinander geneigt sind. Durch Bestimmen der Phasenlagen von Meßpunkten auf der Objektoberfläche (19) bezüglich jedes der Streifenmuster (21, 22, 23) sind durch die Projektion aus drei unterschiedlichen Raumrichtungen die räumlichen Meßpunktkoordinaten mit den vorgegebenen Winkeln und Ortsfrequenzen der Streifenmuster in einer Recheneinheit einer Auswertevorrichtung (27) in bezug auf einen sich auf der Objektoberfläche (19) befindlichen Referenzpunkt bestimmbar.



DE 44 16 108 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 95 508 045/399

11/28

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche in einem Meßraum mit einer Projektionsvorrichtung, mit der wenigstens drei Streifenmuster auf die Objektoberfläche eines Objektes projizierbar sind, mit einer Detektionsvorrichtung, mit der die Streifenmuster an Meßpunkten auf der Objektoberfläche detektierbar sind, und mit einer Auswertevorrichtung, mit der durch Bestimmung der Phasenlagen der Streifenmuster an den Meßpunkten die Koordinaten der Meßpunkte bestimmbar sind.

Derartige Vorrichtungen sind aus der EP 0 445 618 A2 und der EP 0 451 474 A2 bekannt. Bei der Vorrichtung gemäß der EP 0 445 618 A2 weist die Projektionsvorrichtung in einem Ausführungsbeispiel drei in einer Gitterebene angeordnete, jeweils von einer Projektionslampe ausgeleuchtete Projektionsgitter mit zueinander parallel ausgerichteten Gitterlinien auf. Mit einer als Detektionsvorrichtung dienenden Kamera sind die nacheinander im Zeitmultiplexbetrieb auf die Objektoberfläche projizierten Streifenmuster detektierbar und in eine Auswerteeinheit einspeisbar. Die Projektionsgitter liegen in der Gitterebene auf einer Geraden und die von den Projektionslampen über die Projektionsgitter zu der Objektoberfläche verlaufenden Projektionsachsen schließen mit der Beobachtungsachse der Kamera verschiedene Winkel ein, wobei die Projektionsachsen durch zwei Projektionsgitter einen verhältnismäßig großen Winkel von etwa 30 Grad zueinander aufweisen und die Projektionsachsen durch zwei dicht nebeneinander angeordneten Projektionsgitter einen verhältnismäßig kleinen Winkel von 0,5 Grad einschließen.

Durch diese Anordnung sind zwei Sätze von Ebenen konstanter Phasendifferenz definiert, wobei die beiden Sätze unterschiedlich effektive Wellenlängen in Projektionsrichtung zugeordnet werden können. Die effektiven Wellenlängen sind durch die Gitterkonstante der Projektionsgitter und die Winkel zwischen den Projektionsachsen der jeweiligen Projektoren bestimmt und hängen bei gleichen Gitterkonstanten der Projektionsgitter nur von den Winkeln zwischen den Projektionsachsen ab. Durch Auswerten von Schwebungsfrequenzen beziehungsweise von Phasendifferenzen an den Meßpunkten sind der Abstand sowie die Lateralkoordinaten von Meßpunkten auf der Objektoberfläche unter Berücksichtigung der Anordnung der Beobachtungslinse und der geometrischen Abmessungen der Kamera bestimmbar.

Mit diesen Vorrichtungen ist zwar eine eindeutige, absolute Abstandsmessung im gesamten Meßbereich gewährleistet, allerdings gehen in die Berechnung der Meßpunktkoordinaten Abbildungsfehler der Projektionsvorrichtung sowie der Detektionsvorrichtung und prinzipiell stark fehlerbehaftete Subtraktionen von etwa gleich großen Meßgrößen ein, so daß bei ungünstigen Meßbedingungen die Meßpunktkoordinaten verhältnismäßig fehlerbehaftet sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche zu schaffen, die eine genaue Bestimmung von Meßpunktkoordinaten ohne Berücksichtigung gerätebedingter Größen und Meßparameter sowie Abbildungsfehler der Projektionsvorrichtung gestattet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mit der Projektionsvorrichtung in Richtung von wenigstens drei bezüglich des Koordinatensystems des

Meßraumes räumlich verschieden ausgerichteten Projektionsachsen wenigstens drei Streifenmuster auf die Objektoberfläche projizierbar sind, wobei sich zu den Projektionsachsen parallele Einfallsgeralen in einem auf der Objektoberfläche befindlichen Referenzpunkt schneiden und die Einfallsgeralen mit einer durch den Referenzpunkt verlaufenden Referenzgeraden jeweils einen von Null verschiedenen Projektionswinkel einschließen, daß die Linien eines Streifenmusters mit den Linien der anderen Streifenmuster bezüglich des Koordinatensystems des Objektes jeweils einen von Null verschiedenen Streifenwinkel einschließen, daß Zwischenwinkel zwischen Einfallsebenen, die von durch die Einfallsgeralen verlaufenden und rechtwinklig zu der Objektoberfläche stehenden Ebenen gebildet sind, von Null verschieden sind sowie bei Abtragen der Zwischenwinkel in einem Kreis um den Referenzpunkt wenigstens einer der Zwischenwinkel kleiner als 180 Grad ist, daß mit der Auswertevorrichtung die Phasenlagen der Streifenmuster an den Meßpunkten in Bezug auf den Referenzpunkt bestimmbar sind und daß mit den vorgegebenen Projektionswinkeln, Zwischenwinkeln und Ortsfrequenzen der Streifenmuster mit einer Recheneinheit der Auswertevorrichtung die Phasenlagen an den Meßpunkten in Bezug auf den Referenzpunkt in Meßpunktkoordinaten umrechenbar sind.

Durch die Projektion von wenigstens drei winklig zueinander ausgerichteten Streifenmustern aus drei unterschiedlichen Raumrichtungen auf die Objektoberfläche sowie die Berechnung der Meßpunktkoordinaten in Bezug auf den sich auf der Objektoberfläche befindlichen Referenzpunkt gestattet die erfindungsgemäße Vorrichtung ausgehend von sehr genau bestimmbar geometrischen Winkeln und den Ortsfrequenzen der Streifenmuster eine Bestimmung der Meßpunktkoordinaten, so daß fehlerbehaftete Rechenoperationen zur Bestimmung der Meßpunktkoordinaten vermieden sind. Statt dessen gehen in die Berechnungen an den Meßpunkten linear voneinander unabhängige Phasenlagenmeßwerte ein, wobei durch Unabhängigkeit der Koordinatenberechnung von der Beobachtungsrichtung insbesondere Abbildungsfehler oder die begrenzte Ortsauflösung der Detektionsvorrichtung für die Genauigkeit der Phasenlagenmessung und damit der Koordinatenbestimmung keinen nachteiligen Einfluß haben.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind Gitterlinien eines einzelnen Projektionsgitters als Streifenmuster in einem aus einer Beleuchtungsvorrichtung der Projektionsvorrichtung austretenden Projektionslichtbündel über drei auf einem Kreisumfang angeordnete Projektionsspiegel auf die Objektoberfläche projizierbar, wobei in diesem Ausführungsbeispiel die Referenzgerade durch den Mittelpunkt des Kreises verläuft und sich die Projektionsachsen in dem Referenzpunkt schneiden. Mit einem drehbaren Umlenkspiegel sind die Projektionsspiegel nacheinander mit dem Projektionslichtbündel beaufschlagbar. Die Streifenwinkel, Projektionswinkel und Zwischenwinkel weisen jeweils gleiche Werte auf, so daß diese Vorrichtung zum Vermessen von Objektoberflächen mit vollkommen unregelmäßigen Konturen besonders geeignet ist, da bei der Projektion der Streifenmuster keine Raumrichtung bevorzugt ist. Insbesondere wird durch eine derartige Geometrie der Anordnung erreicht, daß sich nicht vermeidbare Fehler bei der Messung der Phasenlagenwerte minimal auf die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung auswirken.

In einem weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispiel

der Erfindung ist das Objekt mit der zu vermessenden Objektoberfläche zentrisch auf einem Drehtisch angebracht. Die Projektionsvorrichtung und der Drehtisch sind starr miteinander verbunden, so daß in allen Stellungen des Drehtisches jeweils gleiche Meßpunkte auf der Objektoberfläche an gleiche Orte der Detektionsvorrichtung abgebildet sind. Die Beobachtungsrichtung der Detektionsvorrichtung fällt in diesem Ausführungsbeispiel mit der Drehachse des Drehtisches zusammen. Mit der Projektionsvorrichtung sind die Gitterlinien eines einzigen Projektionsgitters unter einem Projektionswinkel auf die Objektoberfläche projizierbar, wobei durch Verdrehen des Drehtisches bezüglich des Koordinatensystems des Meßraumes verschiedene Zwischenwinkel und Streifenwinkel einstellbar sind.

Weitere zweckmäßige Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Figurenbeschreibung. Es zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche mit einer sequentiellen Projektion von Streifenmustern über drei Projektionspiegel,

Fig. 2 in einer vergrößerten Darstellung die Anordnung der Projektionspiegel gemäß Fig. 1 und

Fig. 3 eine weitere Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen einer Objektoberfläche, bei der die Objektoberfläche gegenüber der Projektionsvorrichtung drehbar ist.

Bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche weist eine Projektionsvorrichtung 1 eine Weißlichtquelle 2 auf, deren Ausgangslicht 3 über Kondensorlinsen 4, 5 ein Projektionsgitter 6 mit äquidistanten, parallel zueinander angeordneten Gitterlinien 7 beaufschlagt. Nach Durchtritt durch das Projektionsgitter 6 fällt das Ausgangslicht 3 durch eine lichtdurchlässige, planparallele Phasenschieberplatte 8, die um eine parallel zu den Gitterlinien verlaufende Achse mit einem in Fig. 1 nicht dargestellten Schrittmotor drehbar ist. Nach Durchtritt durch die Phasenschieberplatte 8 durchläuft das durch die Gitterlinien 7 intensitätsmodulierte Ausgangslicht 3 zwei Projektionslinsen 9, 10 eines telezentrischen Abbildungssystems, mit denen ein Projektionslichtbündel 11 gebildet ist, das aus der durch die Lichtquelle 1, den Linsen 3, 4, 9, 10 sowie dem Projektionsgitter 7 und der Phasenschieberplatte 8 gebildeten Beleuchtungsvorrichtung 12 austritt.

Das Projektionslichtbündel 11 ist nach Austritt aus der Beleuchtungsvorrichtung 12 in Richtung eines Verteilerspiegels 13 einer Umlenkvorrichtung 14 gerichtet. Der Verteilerspiegel 13 ist drehbar, wobei in einer ersten, aus der Strahlachse 15 des Projektionslichtbündels 11 gedrehten Stellung das Projektionslichtbündel 11 auf einen ersten Projektionspiegel 16 fällt und in zwei weiteren Stellungen des Verteilerspiegels 13 das Projektionslichtbündel 11 auf einen zweiten Projektionspiegel 17 sowie einen dritten Projektionspiegel 18 gelenkt ist.

Die Projektionspiegel 16, 17, 18 lenken das Projektionslichtbündel 11 auf eine zu vermessende Objektoberfläche 19 eines sich in dem Meßraum befindlichen Objektes 20. Auf der Objektoberfläche 19 sind somit durch Drehen des Verteilerspiegels 13 nacheinander ein erstes Streifenmuster 21, ein zweites Streifenmuster 22 und ein drittes Streifenmuster 23 mit einer großen Tiefenschärfe projizierbar. In der Darstellung gemäß Fig. 1 sind die Streifenmuster 21, 22, 23 zusammen dargestellt, um die weiter unten genauer erläuterte winklige Aus-

richtung der Streifenmuster 21, 22, 23 zu zeigen. Durch die Anordnung der Projektionspiegel 16, 17, 18 beispielsweise auf einem Kreisumfang um den Verteilerspiegel 13 mit vorzugsweise jeweils gleichen Zwischenwinkeln fallen die Streifenmuster 21, 22, 23 winklig zueinander ausgerichtet auf die Objektoberfläche 19.

Über einen Ablenspiegel 24 ist mit einer ortsauflösenden Kamera 25 der Verlauf der Streifenmuster 21, 22, 23 auf der Objektoberfläche 19 detektierbar. Die Kamera 25 ist vorzugsweise eine sogenannte "charged coupled device"-(CCD-)Kamera. Das Ausgangssignal der Kamera 25 ist über eine Datenleitung 26 einer als Auswertevorrichtung dienenden Auswerteeinheit 27 mit einer Eingabetastatur 28 und einem Bildschirm 29 einspeisbar.

Fig. 2 zeigt in einer gegenüber Fig. 1 vergrößerten Darstellung die Anordnung der mit den Bildern der Gitterlinien 7 beaufschlagten Projektionspiegel 16, 17, 18, wobei in Fig. 2 aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit der Verteilerspiegel 13 und der Ablenspiegel 24 nicht dargestellt sind. In Fig. 2 ist ein Koordinatensystem mit zwei in einer Ebene durch einen Referenzpunkt 30 liegenden Koordinatenachsen 31, 32 als x-Achse beziehungsweise y-Achse sowie einer sich durch den Referenzpunkt 30 erstreckenden Referenzgeraden 33 als zu der durch die Koordinatenachsen 31, 32 auf gespannten Ebene rechtwinklig stehenden z-Achse eines bezüglich dem Objekt 20 festem Koordinatensystems in dem Meßraum dargestellt.

In dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Projektionspiegel 16, 17, 18 auf einem Kreisumfang angeordnet, wobei die Referenzgerade 33 rechtwinklig zu der Kreisfläche durch den Mittelpunkt des Kreises verläuft. Die sich zwischen dem ersten Projektionspiegel 16 und dem Referenzpunkt 30 erstreckende erste Projektionsachse 34, die sich zwischen dem zweiten Projektionspiegel 17 und dem Referenzpunkt 30 erstreckende zweite Projektionsachse 35 sowie die sich zwischen dem dritten Projektionspiegel 18 und dem Referenzpunkt 30 erstreckende dritte Projektionsachse 36 schneiden sich als Einfallsgerten in dem Referenzpunkt 30 und schließen mit der Referenzgeraden 33 jeweils einen ersten Projektionswinkel 37, einen zweiten Projektionswinkel 38 und einen dritten Projektionswinkel 39 ein. Jede der Projektionsachsen 34, 35, 36 liegt außerhalb einer durch die beiden anderen Projektionsachsen 34, 35, 36 aufgespannten Projektionsachsebene, wobei bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel die Referenzgerade 33 innerhalb des durch die Projektionsachsen 34, 35, 36 begrenzten Pyramidenvolumens verläuft. Der in Fig. 2 nicht dargestellte Ablenspiegel 24 ist vorteilhafterweise in Richtung der Referenzgeraden 33 angeordnet.

In dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die Projektionswinkel 37, 38, 39 einen gleichen Wert von etwa 35 Grad auf. Bei diesem Winkel wirken sich Fehler der Phasenlagenmeßwerte minimal auf die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung aus. Bei stark konturierten Objektoberflächen 19 ist eine Veränderung der Projektionswinkel 37, 38, 39 zweckmäßig, wobei die Werte vorteilhafterweise zwischen 20 Grad und 70 Grad liegen.

Zwischen den Projektionsachsen 34, 35, 36 und der Referenzgeraden 33 sind jeweils eine erste Projektionsebene 40, eine zweite Projektionsebene 41 und eine dritte Projektionsebene 42 aufgespannt. Ein erster Zwischenwinkel 43 zwischen der ersten Projektionsebene 40 und der zweiten Projektionsebene 41, ein zweiter

Zwischenwinkel 44 zwischen der zweiten Projektionsebene 41 und der dritten Projektionsebene 42 sowie ein dritter Zwischenwinkel 45 zwischen der dritten Projektionsebene 42 und der ersten Projektionsebene 40 sind jeweils von Null verschieden und weisen in diesem Ausführungsbeispiel in der durch Pfeile gekennzeichneten Umlaufrichtung auf einem Kreis jeweils einen Wert von 120 Grad auf. Gleiche Werte für die Zwischenwinkel 43, 44, 45 sind für eine hohe Genauigkeit der Koordinatenbestimmung in allen drei Raumrichtungen vorteilhaft. Um Einflüsse der Objektoberfläche 19, wie beispielsweise Glanzlichter, auf die Genauigkeit der Phasenlagenmeßwerte und damit der Koordinatenbestimmung zu vermeiden, kann es zweckmäßig sein, die Zwischenwinkel 43, 44, 45 mit einem von 120 Grad verschiedenen Wert vorzusehen, wobei jedoch bei gleichsinniger Abtragung wenigstens ein Zwischenwinkel 43, 44, 45 kleiner als 180 Grad ist und jeweils die beiden anderen Zwischenwinkel 43, 44, 45 vorzugsweise wenigstens einen Wert von 45 Grad aufweisen.

In der Darstellung der Fig. 2 sind entsprechend zu Fig. 1 das erste Streifenmuster 21, das zweite Streifenmuster 22 und das dritte Streifenmuster 23 miteinander überlagert dargestellt. In einer Ebene schließen die parallelen Linien des ersten Streifenmusters 21 mit den parallelen Linien des zweiten Streifenmusters 22 einen ersten Streifenwinkel 46, die parallelen Linien des zweiten Streifenmusters 22 mit den parallelen Linien des dritten Streifenmusters 23 einen zweiten Streifenwinkel 47 und die parallelen Linien des dritten Streifenmusters 23 mit den parallelen Linien des ersten Streifenmusters 21 einen dritten Streifenwinkel 48 ein, so daß zur Bestimmung der Phasenlagen der Meßpunkte für die drei Koordinaten Streifenmuster 21, 22, 23 mit sich in drei Richtungen erstreckenden Linien vorhanden sind.

Mit der in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Vorrichtung sind die Koordinaten von Meßpunkten auf die Objektoberfläche 19 in Bezug auf den Referenzpunkt 30 bei vorgegebenen Projektionswinkeln 37, 38, 39, Zwischenwinkeln 43, 44, 45 sowie der durch die räumliche Periodizität der Streifenmuster 21, 22, 23 festgelegten Ortsfrequenzen der Streifenmuster bestimmbar, wobei zur Bestimmung der Meßpunktkoordinaten nach einer weiter unten beschriebenen Messung der Phasenlage der Streifenmuster 21, 22, 23 an den Meßpunkten für die Meßpunktkoordinaten folgendes Gleichungssystem bei einer telezentrischen Projektionsvorrichtung 1 mit einer Recheneinheit der Auswerteeinheit 27 lösbar ist:

$$\Delta\Phi_i = 2\pi/\Lambda [(x \cos \Theta_i + y \sin \Theta_i) \cos \alpha_i + z \sin \alpha_i],$$

wobei $\Delta\Phi_i$ der Phasenlage des i-ten Streifenmusters 21, 22 oder 23, $2\pi/\Lambda$ der Ortsfrequenz der in diesem Ausführungsbeispiel mit gleicher Periodizität versehenen Streifenmuster 21, 22, 23, Θ_i dem i-ten Zwischenwinkel 43, 44 oder 45, wobei die Θ_i jeweils den Winkeln zwischen Projektionen von zwei Projektionsachsen 34, 35, 36 auf die durch die Koordinatenachsen 31, 32 auf gespannten Ebene entsprechen, und dem i-ten Projektionswinkel 37, 38 oder 39 mit $i = 1, 2, 3$ entspricht sowie x, y, z die Meßpunktkoordinaten in dem durch die Koordinatenachsen 31, 32 sowie der Referenzgeraden 33 gebildeten objektfesten Koordinatensystem repräsentieren. Bei einer telezentrischen Projektionsvorrichtung 1 sind die Ortsfrequenzen $2\pi/\Lambda$ ortsunabhängig und somit die Lösung des Gleichungssystems besonders einfach. Bei einer nicht telezentrischen Projektionsvorrichtung 1 erfolgt die Koordinatenbestimmung in ähnlicher Weise,

wobei sich jedoch das Gleichungssystem durch die ortsabhängigen Ortsfrequenzen $2\pi/\Lambda$ ändert.

Die durch die Projektionsgeometrie linear voneinander unabhängigen Phasenlagen $\Delta\Phi_i$ sind mit der Auswerteeinheit 27 und dem daran angeschlossenen, in Fig. 1 nicht dargestellten Schrittmotor bei verschiedenen Stellungen der drehbaren Phasenschieberplatte 8 in einem an sich bekannten Phasenschrittverfahren durch schrittweises Variieren der Phasenlage und Zählen der Phasensprünge sowie einer Korrelation zwischen der Schrittzahl zum Erreichen des bezüglich der Phasenlage des Meßpunktes nächsten Phasensprunges und der relativen Phasenlage des Meßpunktes in dem letzten Phasenintervall bestimmbar. Durch die Projektion der Gitterlinien 7 des Projektionsgitters 6 auf die Objektoberfläche 19 aus verschiedenen Richtungen ist einerseits eine schattenfreie Projektion und andererseits durch die Verwendung von für die Umlenkvorrichtung 14 charakteristischen, genau bestimmbar geometrischen Winkel und Phasenlagenwerten eine hohe Genauigkeit sowie insbesondere eine Unabhängigkeit von für die Beleuchtungseinrichtung 12 kennzeichnenden Parametern erreicht.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche 19, bei der die Auswerteeinheit 27 über die Datenleitung 26 mit der unmittelbar über der zur vermessenden Objektoberfläche 19 des Objektes 20 angeordneten Kamera 25 verbunden ist. Die Kamera 25 ist über einen Kameraarm 49 an einem Drehtisch 50 angebracht. Der Drehtisch 50 ist drehbar auf einer Standplatte 51 befestigt, wobei in diesem Ausführungsbeispiel die Drehachse des Drehtisches 50 mit der Beobachtungsachse 52 der Kamera 25 zusammenfällt. In einem Abstand von der Drehachse des Drehtisches 50 ist an einem an der Standplatte 51 angebrachten Projektionsarm 53 ein Streifenprojektor 54 angebracht, mit dem in dem raumfesten Koordinatensystem der gesamten Vorrichtung ein einziges Streifenmuster auf die Objektoberfläche 19 projizierbar ist.

Bei der in Fig. 3 dargestellten Vorrichtung sind in drei unterschiedlichen Stellungen des Drehtisches 50 mit der Kamera 25 drei bezüglich des Koordinatensystems der Objektoberfläche 19 verschieden einfallende Streifenmuster auf der Objektoberfläche 19 detektierbar und über die Datenleitung 26 der Auswerteeinheit 27 einsehbar. Bei vorgegebenen Drehwinkeln des Drehtisches 50 sowie dem Winkel zwischen der Beobachtungsachse 52 und der Projektionsachse 55 des Streifenprojektors 54 sind bei bekannter Phasenlage der Meßpunkte in Bezug auf die in unterschiedlichen Ausrichtungen der Objektoberfläche 19 auftreffenden Linien des Streifenmusters gemäß obiger Gleichung die Meßpunktkoordinaten bestimmbar. Die in Fig. 3 dargestellte Vorrichtung zeichnet sich durch einen optisch stabilen und mechanisch einfachen Ausbau aus.

In einem gegenüber der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung abgewandelten Ausführungsbeispiel ist der Verteilerspiegel 13 durch einen Strahlteiler ersetzt, mit dem die Projektionsspiegel 16, 17, 18 simultan mit dem Projektionsbündel 11 beaufschlagbar sind. In den Strahlengängen zwischen den Projektionsspiegeln 16, 17, 18 und der Objektoberfläche 19 sind Farbfilter mit voneinander separierten Transmissionsbereichen angeordnet, so daß spektral unterschiedliche Streifenmuster auf die Objektoberfläche 19 projiziert sind. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Detektionsvorrichtung als eine spektral empfindliche, ortsauflösende Kamera ausge-

legt, mit der die verschiedenfarbigen Streifenmuster gegeneinander diskriminierbar sind. Diese Vorrichtung zeichnet sich durch die gleichzeitige Projektion der Gitterlinien 7 des Projektionsgitters 6 auf die Objektoberfläche 19 zusammen mit der spektral sensitiven Detektion durch einen schnellen sowie von mechanischen Ungenauigkeiten durch Verstellen von Spiegeln oder Drehtischen freien Meßvorgang aus.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum berührungsfreien Vermessen einer Objektoberfläche in einem Meßraum mit einer Projektionsvorrichtung, mit der wenigstens drei Streifenmuster auf die Objektoberfläche (19) eines Objektes (20) projizierbar sind, mit einer Detektionsvorrichtung (25), mit der die Streifenmuster an Meßpunkten auf der Objektoberfläche (19) detektierbar sind, und mit einer Auswertevorrichtung (27), mit der durch Bestimmung der Phasenlagen der Streifenmuster an den Meßpunkten die Koordinaten der Meßpunkte bestimmbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Projektionsvorrichtung (1) in Richtung von wenigstens drei bezüglich des Koordinatensystems (31, 32, 33) des Meßraumes räumlich verschieden ausgerichteten Projektionsachsen (34, 35, 36) wenigstens drei Streifenmuster (21, 22, 23) auf die Objektoberfläche (19) projizierbar sind, wobei sich zu den Projektionsachsen (34, 35, 36) parallele Einfallsgeraden in einem auf der Objektoberfläche befindlichen Referenzpunkt (30) schneiden und die Einfallsgeraden mit einer durch den Referenzpunkt (30) verlaufenden Referenzgeraden (33) jeweils einen von Null verschiedenen Projektionswinkel (37, 38, 39) einschließen, daß die Linien eines Streifenmusters (21, 22, 23) mit den Linien der anderen Streifenmuster (21, 22, 23) bezüglich des Koordinatensystems des Objektes (20) jeweils einen von Null verschiedenen Streifenwinkel (46, 47, 48) einschließen, daß Zwischenwinkel (43, 44, 45) zwischen Einfallssebenen (40, 41, 42), die von durch die Einfallsgeraden verlaufenden und rechtwinklig zu der Objektoberfläche (19) stehenden Ebenen gebildet sind, von Null verschieden sind sowie bei Abtragen der Zwischenwinkel (43, 44, 45) in einem Kreis um den Referenzpunkt (30) wenigstens einer der Zwischenwinkel (43, 44, 45) kleiner als 180 Grad ist, daß mit der Auswertevorrichtung (27) die Phasenlagen der Streifenmuster (21, 22, 23) an den Meßpunkten in Bezug auf den Referenzpunkt (30) bestimmbar sind und daß mit den vorgegebenen Projektionswinkeln (37, 38, 39), Zwischenwinkeln (43, 44, 45) und Ortsfrequenzen der Streifenmuster (21, 22, 23) mit einer Recheneinheit der Auswertevorrichtung (27) die Phasenlagen an den Meßpunkten in Bezug auf den Referenzpunkt (30) in Meßpunktkoordinaten umrechenbar sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich als Einfallsgeraden die Projektionsachsen (34, 35, 36) in dem Referenzpunkt (30) schneiden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionsvorrichtung (1) ein Gitter (6) aufweist, dessen Gitterlinien (7) als Streifenmuster (21, 22, 23) auf die Objektoberfläche (19) projizierbar sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß dem Gitter (6) eine lichtdurchlässige, planparallele Platte (8) nachgeordnet ist, die um eine parallel zu den Gitterlinien (7) verlaufende Achse drehbar ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterlinien (7) des Gitters (6) über einen Verteilerspiegel (13) und einen Projektionsspiegel (16, 17, 18) auf die Objektoberfläche (19) projizierbar sind, wobei durch Drehen des Verteilerspiegels (13) und Beaufschlagen von insgesamt drei Projektionsspiegeln (16, 17, 18) die Gitterlinien (7) als drei winklig zueinander ausgerichtete Streifenmuster (21, 22, 23) projizierbar sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß über einen Strahlteiler gleichzeitig drei Projektionsspiegel mit dem Bild von polychromatisch beleuchteten Gitterlinien (7) beaufschlagbar sind, wobei zwischen der Objektoberfläche (19) und den Projektionsspiegeln Farbfilter mit spektral voneinander vollständig getrennten Transmissionsbereichen angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Objekt (20) mit der zu vermessenden Objektoberfläche (19) auf einem Drehtisch (50) mittig zu dessen Drehachse angeordnet ist, wobei die Detektionsvorrichtung (25) mit dem Drehtisch (50) verbunden ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektionsvorrichtung (25) in Richtung der Drehachse des Drehtisches (50) detektiert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Detektionsvorrichtung (25) in drei Stellungen des Drehtisches (50) das von einer raumfesten Projektionsvorrichtung (54) auf die Objektoberfläche (19) projizierte Streifenmuster detektierbar ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektionsvorrichtung eine Kamera (25) mit einer Vielzahl von lichtempfindlichen Elementen ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8 und Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kamera spektral sensitiv ist, wobei mit der Kamera die spektral verschiedenen Streifenmuster voneinander diskriminierbar sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionswinkel (37, 38, 39) einen Wert zwischen 20 Grad und 70 Grad aufweisen.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenwinkel (43, 44, 45) jeweils einen Wert von 120 Grad aufweisen.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Streifenmuster (21, 22, 23) in Richtung der Referenzgeraden (33) detektierbar sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

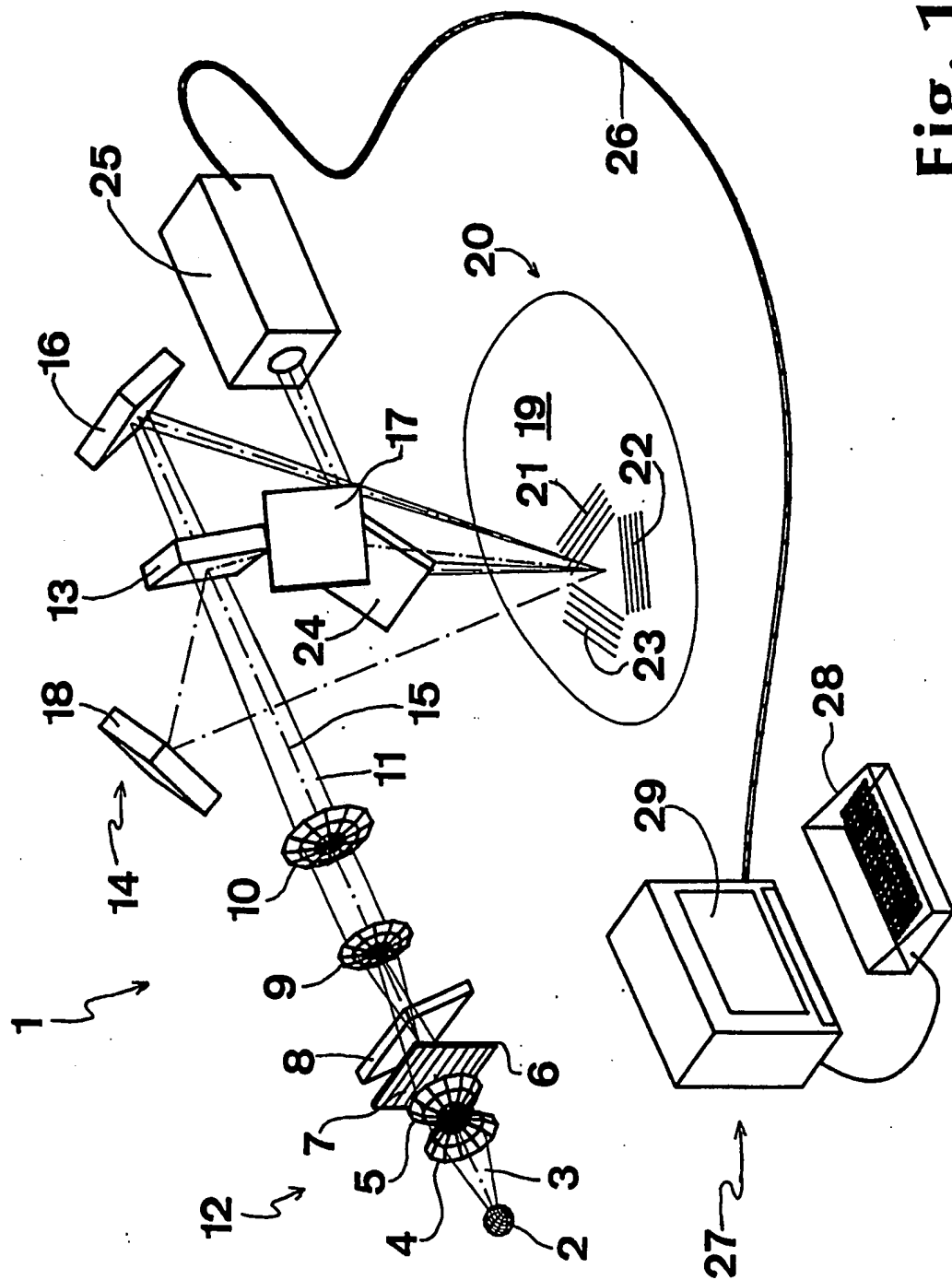


Fig. 1

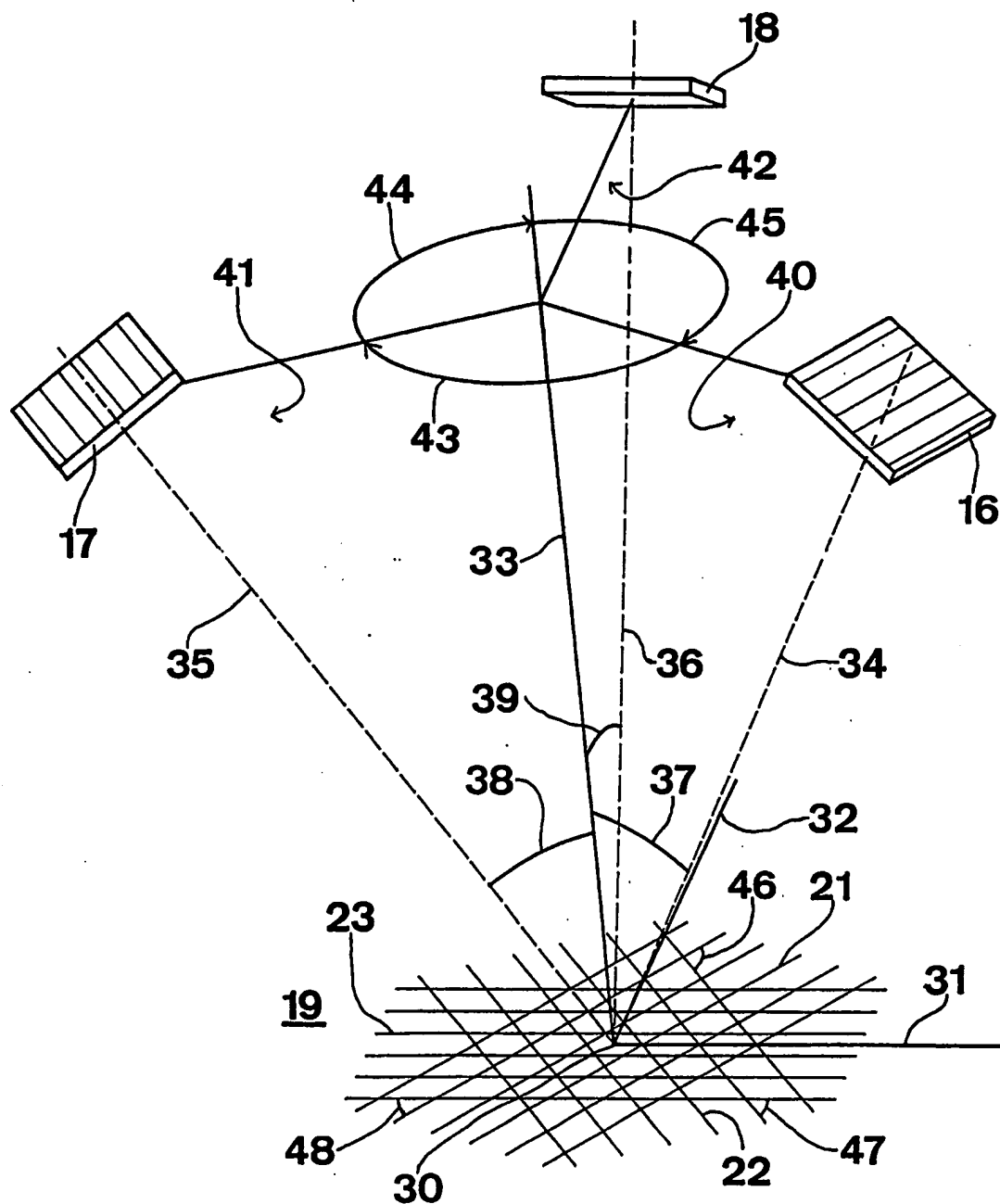


Fig. 2

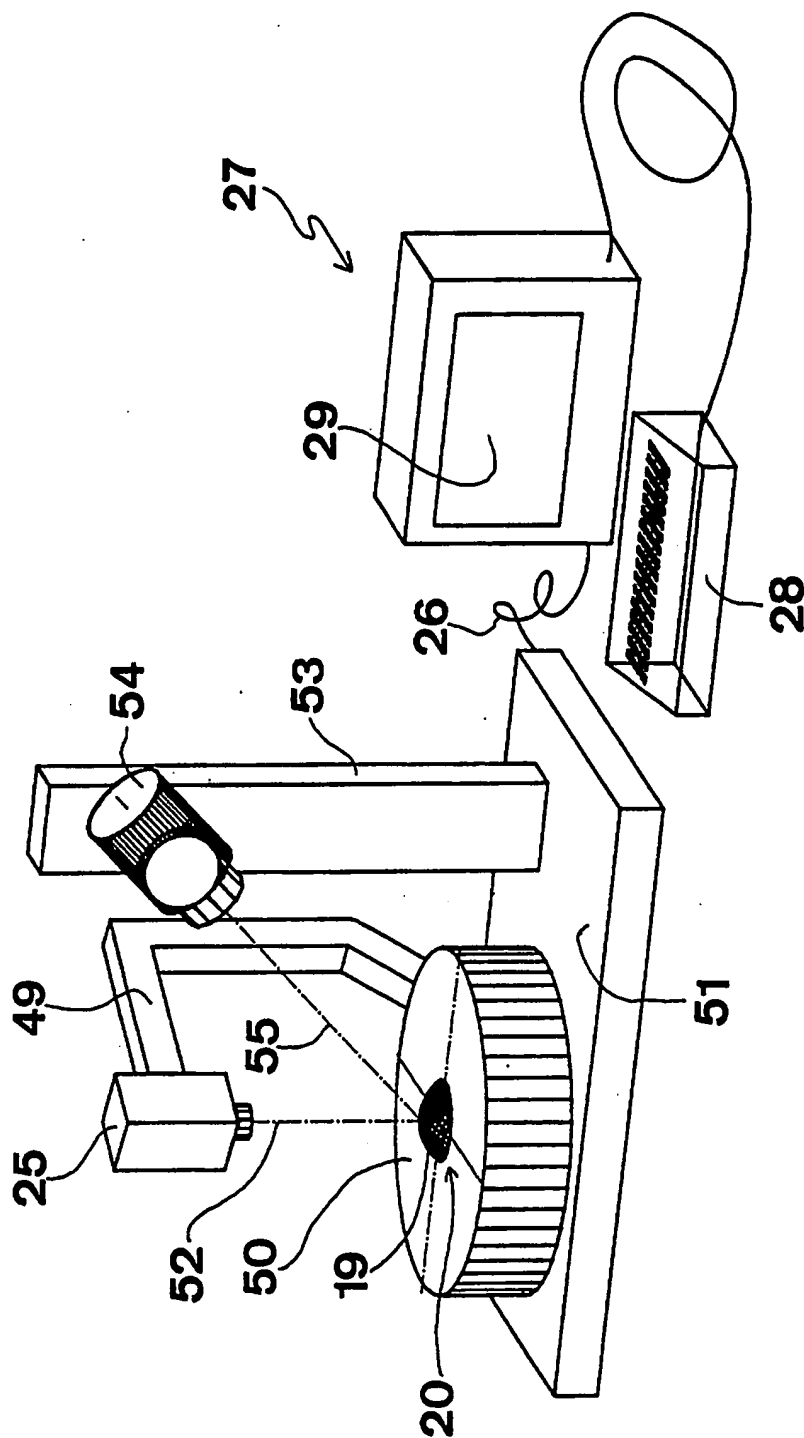


Fig. 3